

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-267239

(P2001-267239A)

(43) 公開日 平成13年9月28日 (2001.9.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームト* (参考)
H 0 1 L 21/027		G 0 3 F 7/20	5 0 2 2 H 0 9 7
G 0 3 F 7/20	5 0 2	7/22	H 5 F 0 4 6
7/22		H 0 1 L 21/30	5 1 6 D

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2000-178982(P2000-178982)

(22) 出願日 平成12年6月14日 (2000.6.14)

(31) 優先権主張番号 特願2000-10207(P2000-10207)

(32) 優先日 平成12年1月14日 (2000.1.14)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 小澤 謙

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100098165

弁理士 大森 聡

Fターム(参考) 2H097 BB01 CA13 GB01 LA10 LA12

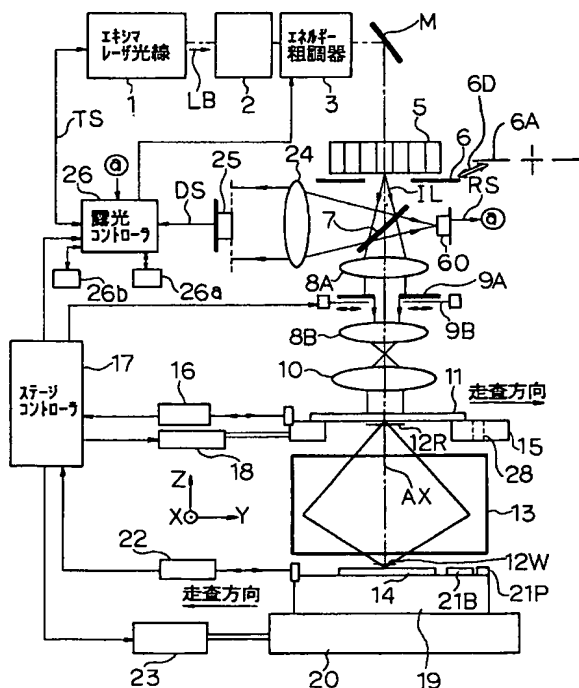
5F046 BA05 DA02 DB01 DC02 DC10

(54) 【発明の名称】 露光方法及び装置、並びにデバイス製造方法

(57) 【要約】

【課題】 光学系中に透過率や反射率が次第に変動する光学部材が使用されている場合に、露光対象の物体（ウエハ等）上で高い露光量制御精度を得る。

【解決手段】 露光ビームとしてのパルス照明光 I L でレチクル 1 1、及び投影光学系 1 3 を介してウエハ 1 4 を露光する露光方法において、予めそのレチクル 1 1 までの光路上のビームスプリッタ 7 を介して検出されるその照明光の光量とそのウエハ 1 4 上での光量との相関関係を求めておく。露光時にそのビームスプリッタ 7 を介して検出される光量とその相関関係とに基づいてそのウエハ 1 4 に対する積算露光量の制御を行うに際して、プロセス条件及び露光経過に応じてその投影光学系 1 3 の透過率の変動量を予測し、この予測された透過率の変動量に基づいてその相関関係を補正する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 露光ビームで第 1 物体を照明し、前記第 1 物体のパターンを経た前記露光ビームで投影系を介して第 2 物体を露光する露光方法において、  
予め前記第 1 物体までの光路上の計測点で検出される前記露光ビームの光量と前記投影系の像面上での前記露光ビームの光量との相関関係を求めておき、  
前記第 2 物体の露光時に前記計測点で検出される前記露光ビームの光量と前記相関関係とに基づいて前記第 2 物体に対する積算露光量の制御を行うに際して、  
プロセス条件及び露光経過に応じて前記投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいて前記相関関係の更新を行うことを特徴とする露光方法。

【請求項 2】 前記露光ビームの波長は 200～170 nm であり、前記投影系は石英ガラスよりなる屈折部材を含むことを特徴とする請求項 1 に記載の露光方法。

【請求項 3】 前記露光ビームはパルス光であり、前記プロセス条件は、前記第 1 物体の照明条件、前記第 1 物体上のパターンの種類、前記第 1 物体上の照明領域の形状、前記露光ビームのパルスエネルギー、及び前記投影系を構成する光学部材の材料の累積使用期間の内の少なくとも一つの条件であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の露光方法。

【請求項 4】 前記露光経過は、前記露光ビームの発光時間、及び前記露光ビームの非発光時間の少なくとも一つのデータによって表されることを特徴とする請求項 1、2、又は 3 に記載の露光方法。

【請求項 5】 前記投影系の透過率の変動量を予測するための制御パラメータとして、前記露光ビームの照射時間に対する透過率の変動率、及び透過率の変動の時定数を用いると共に、  
前記制御パラメータを前記第 1 物体の照明条件毎に独立に保持することを特徴とする請求項 1～4 の何れか一項に記載の露光方法。

【請求項 6】 前記露光ビームの非発光時間が所定時間を超えたときに、  
前記投影系の透過率の計測を行って、前記投影系の透過率の変動量の予測値をリセットすることを特徴とする請求項 1～5 の何れか一項に記載の露光方法。

【請求項 7】 所定の時間が経過する毎に、前記投影系の前記露光ビームに対する透過率分布を計測し、該透過率分布のばらつきが所定の許容範囲を超えた場合に、  
前記露光ビームの照射を停止するか、又は照明領域の全体に前記露光ビームを照射することを特徴とする請求項 1～5 の何れか一項に記載の露光方法。

【請求項 8】 露光ビームを発生する露光光源と、前記露光ビームを第 1 物体に照射する照明系と、前記第 1 物体のパターンを経た前記露光ビームを第 2 物体上に照射する投影系とを有する露光装置において、

前記照明系中の計測点で前記露光ビームの光量を検出する第 1 検出器と、  
前記投影系の像面上での前記露光ビームの光量を検出する第 2 検出器と、  
前記第 1 検出器の出力と前記第 2 検出器の出力との相関関係を記憶しておき、前記第 1 検出器の出力と前記相関関係とに基づいて前記第 2 物体に対する積算露光量の制御を行う露光量制御系と、  
プロセス条件及び露光経過に応じて前記投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいて前記相関関係の更新を行う予測制御系とを有することを特徴とする露光装置。

【請求項 9】 前記照明系中に前記第 1 物体に対する照明条件を切り換える照明条件切り換え部材を設け、  
前記予測制御系は、前記照明条件に応じて前記投影系の透過率の変動量の予測値を算出することを特徴とする請求項 8 に記載の露光装置。

【請求項 10】 前記投影系の像面で前記露光ビームの光量分布を計測する第 3 検出器を設け、  
該第 3 検出器で前記投影系の透過率分布を計測することを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載の露光装置。

【請求項 11】 請求項 1～7 の何れか一項に記載の露光方法を用いてマスクパターンをワークピースに転写する工程を含むデバイス製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD 等）、液晶表示素子、プラズマディスプレイ素子、又は薄膜磁気ヘッド等のデバイスを製造するためのリソグラフィ工程中で使用される露光方法及び装置に関し、特にパルス光源からの露光ビームを使用するステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置で露光量制御を行う場合に使用して好適なものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来より半導体素子等を製造する際に使用されている投影露光装置における 1 つの基本的な機能として、被露光基板としてのフォトリソ（感光材料）が塗布されたウエハ（又はガラスプレート等）の各ショット領域内の各点に対する積算露光量を適正範囲内に収めるための露光量制御機能がある。従来のステッパのような一括露光型の投影露光装置での露光量制御としては、水銀ランプのような連続光源、又はエキシマレーザ光源のようなパルスレーザ光源の何れを使用する場合でも、基本的には照明光学系中の光電検出器よりなるインテグレートセンサを介して間接的に計測されるウエハ上での露光量の積算値が、所定の設定露光量（目標露光量）に対応する所定のクリティカルレベルを超えるまで露光を続けるというカットオフ制御が行われていた。また、露光光源としてパルスレーザ光源を用いる場合に

においては、パルスレーザ光毎にエネルギーのばらつきを有するため、所定の最小露光パルス数以上の複数のパルスレーザ光で露光することにより、所望の露光量制御精度再現性を得ていた。

【0003】更に、近年使用されているステップ・アンド・スキャン方式のような走査露光型の投影露光装置では、従来は単純に露光光（露光ビーム）としての各パルス光の光量を積算して露光量制御を行う方式（オープン露光量制御方式）が使用されていた。これに対して、最近、特開平6-252022号公報で開示されているように、ウエハ上で走査方向に対してスリット状の露光領域（照野フィールド）に含まれる領域に対する積算露光量をパルス光毎にリアルタイムで計測し、その積算露光量に基づいて次のパルス光の目標エネルギーを個別に算出して、各パルス光のエネルギーを制御する方式（パルス毎露光量制御方式）も提案されている。このパルス毎露光量制御方式では、オープン露光量制御方式よりも積算露光量のばらつきを小さくすることができると共に、一括露光型の投影露光装置にも適用することができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように露光量制御を高精度に行うことによって、現像後の感光材料のパターン（レジストパターン）の寸法精度が向上し、露光光の波長（露光波長）や投影光学系の開口数等に応じて決定される限界解像度により近い解像度が得られる。その限界解像度を更に高めるために、露光波長自体の短波長化も進んでおり、近年ではKrFエキシマレーザ（波長248nm）の次世代の露光光源として、ArFエキシマレーザ（波長193nm）も使用されつつある。

【0005】このように波長が200nm程度以下の真空紫外域の露光光に対して、投影光学系を構成する屈折部材（レンズ等）の硝材として使用できる、実用的な透過率を持つ光学材料は現状では石英ガラス（合成石英）及び蛍石である。この中で、蛍石は高価であるため、できるだけ石英ガラスを多く使用することによって、投影光学系の製造コストを低く抑えることができる。

【0006】しかしながら、エキシマレーザ光はパルス光であり、石英ガラスのような光学材料に、真空紫外域の高エネルギーのパルス光を照射すると、その透過率が例えば数10秒程度のオーダの時定数をもって変化するという現象が知られている。その現象は或る程度可逆的であり、そのパルス光の照射を中止すると、その光学材料の透過率は所定の時定数で初期値の方向に回復する。従って、そのパルス光を用いて、ウエハ上の全部のショット領域に対して順次露光を行う場合に、投影光学系の透過率が次第に変化して来る。

【0007】このように投影光学系の透過率が変化すると、上記のインテグレートセンサで検出される露光光の光量と、投影光学系の像面での光量との関係が変化するために、例えば露光前に計測した関係（インテグレート

センサと像面との相関）と、インテグレートセンサの検出結果とに基づいて露光量制御を行うと、積算露光量の誤差が生じてしまう。そのため、より高い解像度を得るためにArFエキシマレーザ光を使用する投影露光装置において、目標とする解像度が得られなくなるという不都合がある。

【0008】同様に、照明光学系中で、インテグレートセンサからマスクとしてのレチクルまでの光学部材で透過率変動が生じる場合にも、露光量の制御精度が低下する。これに関して、石英ガラスにおける内部に含まれる成分中の水素イオン（H<sup>+</sup>）のドーピング量を制御することによって、その短期的な透過率の変動量を低減できることも知られている。しかしながら、このような石英ガラスでは、そのパルス光の長期間に亘る照射による特性の劣化（コンパクション）が大きくなる。そのため、照明光学系の内部のように、交換が比較的容易に行える箇所で使用することが可能ではあるが、投影光学系の内部のように交換が困難な箇所での使用は避けることが望ましい。その結果、特に投影光学系には短期的な透過率変動を伴う石英ガラスが使用される傾向があるため、そのような透過率変動があっても高い露光量制御精度が得られる露光方法及び露光装置の開発が望まれている。

【0009】また、透過率のみならず、例えば反射屈折系よりなる投影光学系中で、反射部材の反射率が短期的に変動するような場合にも、それに対処できる露光量制御が必要である。本発明は斯かる点に鑑み、光学系中に透過率や反射率が次第に変動するような光学部材が使用されている場合でも、露光対象の物体（ウエハ等）上で高い露光量制御精度が得られる露光方法を提供することを第1の目的とする。

【0010】また、本発明は、パルス光を用いて露光を行う場合に、光学系の透過率（反射率も含めた全体の透過率）が次第に変動しても、露光対象の物体上で高い露光量制御精度が得られる露光方法を提供することを第2の目的とする。また、本発明はそのような露光方法を使用できる露光装置、及びその露光方法を用いた高精度なデバイス製造方法を提供することをも目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の露光方法は、露光ビームで第1物体（11）を照明し、その第1物体のパターンを経たその露光ビームで投影系（13）を介して第2物体（14）を露光する露光方法において、予めその第1物体までの光路上の計測点（7）で検出されるその露光ビームの光量とその投影系の像面上でのその露光ビームの光量との相関関係を求めておき、その第2物体の露光時にその計測点で検出されるその露光ビームの光量とその相関関係とに基づいてその第2物体に対する積算露光量の制御を行うに際して、プロセス条件及び露光経過に応じてその投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいてその

相関関係の更新を行うものである。

【0012】斯かる本発明によれば、その相関関係として、例えばその計測点での光量からその像面での光量を求めるための係数を求めておくと共に、予めその投影系の透過率の変動率をプロセス条件及び露光経過の関数として求めておく。そして、露光中にその関数に基づいてその透過率の変動量を求め、その係数にその変動後の透過率を乗じることでその係数を補正できる。その計測点での光量の計測値にその補正後の係数を乗ずることで、その第2物体上での露光ビームの光量を間接的に求めることができ、その光量を積算して得られるその第2物体上での積算露光量が、目標露光量（設定露光量）になるように制御することで、高い露光量制御精度が得られる。

【0013】この場合、その投影系の空間的な透過率変動の平均値をもって、その係数の補正を行うことで、少ない計算量でその第2物体上の各区画領域（ショット領域）内での露光量の誤差を平均値に対して振り分けて最小にできる。なお、本発明では、透過率の変動量を予測する光学系として投影系を用いているが、第1物体を露光ビームで照射する照明系を備え、その照明系中の所定の計測点で露光ビームの光量を検出する場合には、その透過率の変動量を予測する光学系として、その計測点からその第1物体までの間に配置される照明系の一部の光学部材、及びその投影系を含めた光学系が用いられる。即ち、照明系中のその計測点からその第2物体までの間の光路に配置される光学部材が、その透過率の変動量を予測する光学系になる。

【0014】また、一例としてその露光ビームの波長は200～170nmであり、その投影系は石英ガラスよりなる屈折部材を含むものである。石英ガラスは、真空紫外域の光（特に高出力のパルス光）に対して透過率が短期的に変動する傾向があると共に、その透過率変動をS i-Xの結合の切断（変動）、及び再結合（緩和）による一般的な線形系として数学的にほぼ正確に扱うことができる。そこで、露光ビームが照射される露光中に起きている透過率の変動量と、その第2物体のステップ移動中や交換中に起きている透過率の緩和量とを予測計算することで、この予測値に基づいて露光量制御を高精度に行うことができるため、本発明のように透過率の変動量を予測する制御方法は特に有効である。

【0015】また、一例として、その露光ビームはパルス光であり、そのプロセス条件は、その第1物体の照明条件、その第1物体上のパターンの種類、その第1物体上の照明領域の大きさ（チップサイズ）その露光ビームのパルスエネルギー密度（フルエンス）、及びその投影系を構成する光学部材の材料の累積使用期間の内の少なくとも一つの条件であり、その露光経過は、その露光ビームの発光時間、及びその露光ビームの非発光時間の少なくとも一つのデータによって表されるものである。

【0016】例えばその第1物体上のパターンの種類によって、局所的にパターン密度に差があると、投影系中を通過する露光ビームの強度分布のばらつきによって透過率分布にもばらつきが生じ、その第2物体上の露光領域内での照度むら変動する。この場合にも、そのパターンの種類に応じて透過率分布のむらを予測することによって、平均的に適正な露光量を得ることができる。

【0017】また、その投影系の透過率の変動量を予測するための制御パラメータとして、その露光ビームの照射パワーに対する透過率の変動率、及び透過率の変動の時定数を用いると共に、その制御パラメータをその第1物体の照明条件毎に独立に保持することが望ましい。照明条件毎に制御パラメータ（制御定数）を独立に保持することにより、どの照明条件でも良好な露光量補正が可能となる。

【0018】次に、本発明による第2の露光方法は、その第1の露光方法において、その露光ビームの非発光時間が所定時間を超えたときに、その投影系の透過率の計測を行って、その投影系の透過率の変動量の予測値をリセットするものである。斯かる本発明によれば、その第2物体の交換時やアライメント時のように、その第2物体のステップ移動時に比べて長い非照射時間があると、切断された上記の結合の再結合による緩和だけでなく、露光装置のチャンバ内や光路内の空間中に残留している汚染物質の光学系への付着等の予測困難な物理現象も無視できない量の透過率変動を引き起こす恐れがあるため、透過率の予測精度が低下する場合がある。このように透過率の予測精度が劣化するようなときは、確認のためにリアルタイムに投影系の透過率計測を行い、予測制御式に基づいた予測値を初期値にリセットしてやることで、露光量の制御精度が向上する。

【0019】また、長い非照射時間の後に、投影系の透過率計測を行い、透過率の予測精度が低下するような計測結果が得られた場合は、非照射時間の後にダミー照射を行い、光学系に付着した汚染物質を光洗浄するようにしてもよい。同様に、その第2物体上の各区画領域（ショット領域）を2種類のマスクパターンと2種類の照明条件とを用いて露光する、所謂二重露光のように異なる照明条件での露光を連続的に行う場合、直前の異なる照明条件による緩和現象とこれからの照明条件による変動現象とが混在したときも、予測精度が劣化する。このような場合にも、予測精度の劣化が所定のレベルを超えると判断したときは、露光を中断して確認のためのリアルタイムの透過率計測を行い、予測制御式をリセットすることで、露光量の制御精度が向上する。

【0020】更に、これらの制御パラメータ（制御定数）自体も露光ビームの長期の照射により次第に変動していくことが予想できる際には、これらの制御パラメータを定期的に計測して更新されるべき定数である更新可能な定数とすることが望ましい。これによって、長期に

亘って良好な露光量補正が可能となる。また、所定の時間が経過する毎に、その投影系のその露光ビームに対する透過率分布を計測し、該透過率分布のばらつきが所定の許容範囲を超えた場合に、その露光ビームの照射を停止してその投影系の透過率の変動を緩和させるか、又はその第1物体を取り外して照明領域の全体にその露光ビームを照射し、変動を緩和させることが望ましい。透過率分布のばらつきが大きくなり過ぎると、その第2物体上での露光量むらが許容範囲を超える恐れがあるため、このようなときに、その透過率を均一化させることで、露光量分布が均一化される。

【0021】次に、本発明の露光装置は、露光ビームを発生する露光光源(1)と、その露光ビームを第1物体(11)に照射する照明系(2, 3, M, 5, 8A, 8B, 10, 11)と、その第1物体のパターンを経たその露光ビームを第2物体(14)上に照射する投影系(13)とを有する露光装置において、その照明系中の計測点(7)でその露光ビームの光量を検出する第1検出器(25)と、その投影系の像面上でのその露光ビームの光量を検出する第2検出器(21B)と、その第1検出器の出力とその第2検出器の出力との相関関係を記憶しておき、その第1検出器の出力とその相関関係とに基づいてその第2物体に対する積算露光量の制御を行う露光量制御系(26)と、プロセス条件及び露光経過に応じてその投影系の透過率の変動量を予測し、該予測された透過率の変動量に基づいてその相関関係の更新を行う予測制御系(26b)とを有するものである。

【0022】斯かる露光装置によって、本発明の露光方法を使用できる。なお、本発明においては、投影系の透過率の変動量を予測しているが、その照明系中の計測点から第2物体までの光学系(照明系を構成する複数の光学部材の一部、及び投影系を含む)の透過率の変動量を予測してもよい。但し、透過率の変動量は、大部分が投影系の変動量に起因するため、その計測点から第2物体までの光学系の透過率の変動量を、実質的にその投影系の透過率の変動量とみなすことができる。この場合でも、その計測点からその投影系までの間に配置される光学部材(照明系の一部)の透過率の変動量が大い場合には、それを考慮することは言うまでもない。

【0023】この場合、その照明系中にその第1物体に対する照明条件を切り換える照明条件切り換え部材(6, 6A, 6D)を設け、その予測制御系は、その照明条件に応じてその投影系の透過率の変動量の予測値を算出することが望ましい。また、その投影系の像面でその露光ビームの光量分布を計測する第3検出器(21P)を設け、この第3検出器でその投影系の透過率分布を計測することが望ましい。

【0024】次に、本発明のデバイス製造方法は、本発明の露光方法を用いてマスクパターンをワークピースに転写する工程を含むものである。本発明によればその第

1物体のパターンをデバイスのパターン、その第2物体をワークピース(ウエハ等の基板等)として露光を行うことによって、積算露光量が高精度に制御できるため、線幅精度等に優れた高精度のデバイスを量産することができる。

#### 【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態の一例につき図面を参照して説明する。本例は、露光光源にパルス光源としてのエキシマレーザ光源を使用するステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置において、露光量制御を行う場合に本発明を適用したものである。

【0026】図1は本例の投影露光装置を示し、この図1において、露光光源としてのエキシマレーザ光源1からパルス発光された露光ビームとしてのレーザビームLBは、シリンダレンズやビームエキスパンダ等で構成されるビーム整形光学系2により、後続のオプティカル・インテグレータ(ユニフォマイザ、又はホモジナイザ)としてのフライアイレンズ5に効率よく入射するようにビームの断面形状が整形される。エキシマレーザ光源1としては、本例では波長200nm以下の真空紫外域のパルス光源であるArFエキシマレーザ光源(波長193nm)を使用する。また、エキシマレーザ光源1の代わりに、F<sub>2</sub>レーザ(波長157nm)やKr<sub>2</sub>レーザ(波長146nm)等のパルス発光型のレーザ光源を使用する場合にも本発明が適用できる。更に、露光光源として、金属蒸気レーザ光源やYAGレーザの高調波発生装置、又は半導体レーザをエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)等の光ファイバ増幅器で増幅してから波長変換するレーザ光源等を使用する場合にも本発明が適用できる。

【0027】ビーム整形光学系2から射出されたレーザビームLBは、減光部材としてのエネルギー粗調器3に入射する。エネルギー粗調器3は、回転自在な2段のレボルバ上にそれぞれ透過率(=1-減光率)の異なる複数のNDフィルタを配置したものであり、そのレボルバを駆動モータで回転することにより、入射するレーザビームLBに対する透過率を100%から複数段階で切り換えることができるように構成されている。なお、そのエネルギー粗調器3を複数のNDフィルタを備えた1段のレボルバ、又は透過率の異なる複数のメッシュフィルタ等を備えた1段若しくは複数段のフィルタ交換部材より構成してもよい。

【0028】図1において、エネルギー粗調器3から射出されたレーザビームLBは、光路折り曲げ用のミラーMを介してオプティカル・インテグレータ(ユニフォマイザ、又はホモジナイザ)としてのフライアイレンズ5に入射する。フライアイレンズ5は、後段のマスクとしてのレチクル11を均一な照度分布で照明するために多数の2次光源を形成する。フライアイレンズ5の射出面には照明系の開口絞り(いわゆる「σ絞り」)6が配置

され、その開口絞り6には通常照明用の円形の開口が形成されている。本例では、駆動装置6Dによってその開口絞り6を輪帯状の開口が形成された輪帯照明用の開口絞り6A、複数の偏心した開口が形成された変形照明用の開口絞り（不図示）、及び小さい開口が形成された小さいコヒーレンスファクタ（ $\sigma$  値）用の開口絞り（不図示）等の内の任意の開口絞りと交換できるように構成されている。駆動装置6Dによって開口絞り6、6A等を切り換えることによって、レチクル11に対する照明条件を切り換えることができる。

【0029】なお、フライアイレンズ5の射出側の中央部を遮光する開口絞り6を配置することによって、レーザービームの総光量が減少してレチクル上での照度が大幅に低下する恐れもある。この場合には、エキシマレーザー光源1とフライアイレンズ5との間の光路間に、光量損失無しにレーザービームLBを輪帯状の光束に変換するために、円錐状の屈折面を持つ輪帯状光束変換部材を配置してもよい。

【0030】開口絞り6の開口中の多数の2次光源から射出されるレーザービーム（以下、「パルス照明光IL」と呼ぶ）は、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッター7に入射し、ビームスプリッター7を透過した露光ビームとしてのパルス照明光ILは、第1リレーレンズ8Aを経て固定照野絞り（固定レチクルブラインド）9Aの矩形の開口部を通過する。また、固定照野絞り9Aの近傍に、レチクル11の走査方向に対応する位置及び幅が可変の開口部を有する可動照野絞り9Bも配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動照野絞り9Bを介して照野フィールドを更に制限することによって、不要な部分への露光が防止されるように構成されている。この場合、可動照野絞り9Bは、レチクルのパターン面に対する共役面上に配置され、固定照野絞り9Aは、その共役面から僅かにデフォーカスした位置に配置されている。

【0031】固定照野絞り9A、及び可動照野絞り9Bを通過した露光ビームとしてのパルス照明光ILは、第2リレーレンズ8B、及びコンデンサレンズ10を経て、レチクルステージ15上に保持されたレチクル11上の矩形の照明領域12Rを均一な照度分布で照明する。レチクル11上の照明領域12R内のパターンを投影光学系13を介して投影倍率 $M_{RW}$ （ $M_{RW}$ は例えば $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$ 等）で縮小した像が、被露光基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（wafer）14上の矩形の露光領域（照野フィールド）12Wに投影露光される。ウエハ14は例えば半導体（シリコン等）又はSOI（silicon on insulator）等の円板状の基板である。レチクル11及びウエハ14がそれぞれ本発明の第1物体及び第2物体に対応し、投影光学系13が本発明の投影系に対応している。以下、投影光学系13の光軸AXに平行にZ軸を取り、その光軸AXに垂直な平面内

で照明領域12Rに対するレチクル11の走査方向（即ち、図1の紙面に平行な方向）をY方向、その走査方向に垂直な非走査方向をX方向として説明する。

【0032】このとき、レチクルステージ15は例えばリニアモータ方式のレチクルステージ駆動部18により不図示のレチクルベース上をY方向に等速移動（走査）すると共に、X方向、Y方向、回転方向に同期誤差を補正するように微動する。レチクルステージ15上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計16により計測されるレチクルステージ15のX座標、Y座標、及び回転角がステージコントローラ17に供給され、ステージコントローラ17は供給された座標等に基づいてレチクルステージ駆動部18を介して、レチクルステージ15の位置及び速度を制御する。また、レチクルステージ15のレチクル11に対して走査方向にずれた位置に、非走査方向（X方向）に細長い開口よりなる計測スリット28（図4参照）が形成されている。本例では、後述のように計測スリット28を照明領域12Rに移動することによって、投影光学系13の透過率分布の計測を行う。

【0033】一方、ウエハ14は、不図示のウエハホルダを介してZチルトステージ（試料台）19上に載置され、Zチルトステージ19はXYステージ20上に載置されている。XYステージ20は、不図示のウエハベース上でX方向、Y方向にウエハ14のステップ移動を行うと共に、Y方向にウエハWを等速移動（走査）する。また、Zチルトステージ19は、ウエハ14のZ方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY平面に対するウエハ14の傾斜角を調整する機能を有する。Zチルトステージ19上に固定された移動鏡、及び外部のレーザ干渉計22により計測されるXYステージ20のX座標、Y座標、及び回転角がステージコントローラ17に供給され、ステージコントローラ17は供給された座標等に基づいて、例えばリニアモータ方式のウエハステージ駆動部23を介してXYステージ20の位置、及び速度を制御する。Zチルトステージ19及びXYステージ20よりウエハステージが構成されている。

【0034】また、ステージコントローラ17の動作は、不図示の装置全体を統轄制御する主制御系によって制御されている。そして、走査露光時には、XYステージ20のステップ移動によってウエハ14上の露光対象のショット領域を走査開始位置に移動する動作と、レチクル11をレチクルステージ15を介して、照明領域12Rに対して+Y方向（又は-Y方向）に速度 $V_R$ で走査するのに同期して、ウエハ14をXYステージ20を介して、露光領域12Wに対して-Y方向（又は+Y方向）に速度 $M_{RW} \cdot V_R$ （ $M_{RW}$ はレチクル11からウエハ14に対する投影倍率）で走査する動作とが、ステップ・アンド・スキャン方式で繰り返される。これによってウエハ14上の全部のショット領域にレチクル11のパ

ターンの縮小像が転写される。なお、レチクル11とウエハ14との走査方向が逆であるのは投影光学系13が反転投影を行うからであり、投影光学系13が正立像を投影する場合にはレチクル11及びウエハ14の走査方向は同一になる。

【0035】また、Zチルトステージ19上のウエハ14の近傍に光電変換素子からなる照度むらセンサ21Pが常設され、照度むらセンサ21Pの受光面はウエハ14の表面と同じ高さに設定されて、ピンホール状の受光部21Pa（図5参照）が形成されている。更に、そのZチルトステージ19上にその露光領域12Wよりも広い受光部21Ba（図5参照）が形成された光電変換素子よりなる照射量モニタ21Bが常設されている。照射量モニタ21B及び照度むらセンサ21Pがそれぞれ本発明の第2検出器及び第3検出器に対応している。

【0036】照射量モニタ21B及び照度むらセンサ21Pとしては、パルス照明光1Lと同じ波長域（例えば波長300nm～100nm程度）で感度があり、且つパルス照明光を検出するために高い応答周波数を有するフォトダイオード、又はフォトマルチプライア等の光電変換素子が使用できる。照射量モニタ21B及び照度むらセンサ21Pの検出信号が不図示のピークホールド回路、及びアナログ／デジタル（A/D）変換器を介して露光コントローラ26に供給されている。

【0037】図1において、フライアイレンズ5から射出されて計測点としてのビームスプリッタ7で反射されたパルス照明光1Lは、集光レンズ24を介して第1検出器としての光電変換素子よりなるインテグレートセンサ25で受光され、インテグレートセンサ25の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及びA/D変換器を介して出力DS [digit] として露光コントローラ26に供給される。インテグレートセンサ25の出力DSと、照射量モニタ21Bによって計測される投影光学系13の露光領域12W（像面）に対応するウエハ14の表面上でのパルス照明光1Lの単位面積当たりのパルスエネルギー（露光量） $[mJ/cm^2]$ との相関係数 $\alpha 1$ は予め求められており、その相関係数 $\alpha 1$ は露光コントローラ26に接続された磁気ディスク装置等の記憶部26a内に格納されている。なお、投影光学系13の透過率がほぼ一定である場合には、例えば露光工程の開始時等に求めたその相関係数 $\alpha 1$ を露光中もそのまま使用すればよいが、本例では後述のように投影光学系13の透過率が短期的に変動する場合にも対処できるように露光量制御を行うため、その相関係数 $\alpha 1$ は変数（時間の関数）である。

【0038】露光コントローラ26は、ステージコントローラ17からのステージ系（レチクルステージ15及びウエハステージ（19、20））の動作情報に同期して、制御情報TSをエキシマレーザ光源1に供給することによって、エキシマレーザ光源1の発光タイミング、

及び発光パワー等を制御する。更に、露光コントローラ26は、エネルギー粗調器3のNDフィルタを切り換えることによって透過率を制御し、ステージコントローラ17は、ステージ系の動作情報に同期して可動照野絞り9Bの開閉動作を制御する。

【0039】また、ビームスプリッタ7の裏面の反射面側で、照明光学系の瞳面と共役な位置に光電変換素子よりなる反射量モニタ60が配置されている。この構成では、ウエハ14で反射されたパルス照明光1L（反射光）は、投影光学系13から第2リレーレンズ8Aを介してビームスプリッタ7に戻り、ビームスプリッタ7で反射された光が反射量モニタ60に受光され、反射量モニタ60の検出信号RSが露光コントローラ26に供給されている。露光中には、インテグレートセンサ25の検出信号より投影光学系13に入射する光量（第1光量とする）がモニタされ、反射量モニタ60の検出信号よりウエハ14で反射されて投影光学系13を再び通過する光量（第2光量とする）がモニタできるため、その第1光量と第2光量とを加算することによって、その投影光学系13を通過する全体の光量がより正確にモニタできる。

【0040】また、その投影光学系13を通過する全体の光量の積分値に応じて、投影光学系13のディストーション（倍率誤差を含む）、及びベストフォーカス位置等の結像特性が経時的に変化する。そこで、予めその全体の光量の積分値と、その投影光学系13の結像特性の変化量との関係を求めて記憶部26aに記憶しておき、露光中に露光コントローラ26はそのインテグレートセンサ25、及び反射量モニタ60の検出結果より投影光学系13を通過する全体の光量の積分値を求め、この積分値より投影光学系13の結像特性の変化量を求める。そして、例えばその結像特性の変化量が許容範囲を超える恐れのある場合には、露光コントローラ26は、例えば不図示の結像特性補正装置（投影光学系13の一部のレンズを駆動する装置等）を介して投影光学系13の結像特性を補正するか、又はベストフォーカス位置の変動量に合わせてウエハ14のフォーカス位置を補正する。これによって、常に最適な結像特性で露光が行われる。

【0041】次に、本例の露光量制御系の構成につき図2を参照して説明する。図2は、図1の投影露光装置の露光量制御系を示し、この図2のエキシマレーザ光源1の内部において、レーザ共振器1aからパルス的に放出されたレーザビームは、透過率が高く僅かな反射率を有するビームスプリッタ1bに入射し、ビームスプリッタ1bを透過したレーザビームLBが外部に射出される。また、ビームスプリッタ1bで反射されたレーザビームが光電変換素子よりなるエネルギーモニタ1cに入射し、エネルギーモニタ1cからの光電変換信号が不図示のピークホールド回路を介して出力ESとしてエネルギーコントローラ1dに供給されている。エネルギーモニ

タ1cの出力ESに対応するエネルギーの制御量の単位は[mJ/pulse]である。通常の発光時には、エネルギーコントローラ1dは、エネルギーモニタ1cの出力ESが、露光コントローラ26より供給された制御情報TS中の1パルス当たりのエネルギーの目標値に対応した値となるように、高圧電源1e内の電源電圧を制御し、この電源電圧に応じてレーザ共振器1aにおける1パルス当たりのエネルギーが決定される。これによって、エキシマレーザ光源1から射出されるレーザビームLBの平均のパルスエネルギーが、露光コントローラ26で指示された値となる。

【0042】エキシマレーザ光源1の1パルス当たりのエネルギーは通常、所定の中心エネルギー $E_0$ において安定化されているが、その中心エネルギー $E_0$ の上下に所定範囲で変化(連続的な微調)ができるように構成されている。また、エキシマレーザ光源1内のビームスプリッタ1bの外側には、露光コントローラ26からの制御情報に応じてレーザビームLBを遮光するためのシャッタ1fも配置されている。

【0043】更に、図2において、後述の相関係数の算出時、又は更新時には、エネルギーモニタ1cの出力ESに対応する処理量がエネルギーコントローラ1dを介して露光コントローラ26に供給され、露光コントローラ26では、エネルギーモニタ1cの出力ESに対応する処理量とインテグレータセンサ25の出力DSとの相関関係を求める。そして、走査露光時に露光コントローラ26は、所定の制御情報TSをエネルギーコントローラ1dに送って、エキシマレーザ光源1に実質的に一定周期でパルス発光を行わせ、各パルス照明光毎にインテグレータセンサ25からの出力DSを積算して、順次ウエハ14上の各点での実際の積算露光量を間接的に求める。そして、その各点が図1の露光領域12Wを通過した際の積算露光量がウエハ14上のフォトレジストに対する設定露光量(目標露光量)に所定の許容範囲(精度)で合致するように、露光コントローラ26は後述のようにエネルギー粗調器3における透過率の調整、及びエキシマレーザ光源1における1パルス当たりのエネルギーの微調整を行う。

【0044】さて、図1の本例の投影光学系13としては、石英ガラス( $SiO_2$ )よりなる複数枚の屈折部材としてのレンズ、及び色収差補正用の1枚又は複数枚の蛍石( $CaF_2$ )よりなるレンズを備えた結像系が使用されている。この際に、蛍石は高価であるため、その使用量は必要最低限に抑えられている。また、その石英ガラスとしては、水素イオン( $H^+$ )のドーピング量を制御して短期的な透過率変動量を小さくした材料ではなく、短期的な透過率変動の発生を許容して、長期的な透過率変動量(コンパクション)を小さくした材料が使用されている。これは投影光学系13中の光学部材は交換が容易ではないからである。

【0045】一方、ビームスプリッタ7からコンデンサレンズ10までの光学部材を含む照明光学系中の屈折部材(レンズ等)としても石英ガラス、及び必要に応じて蛍石が使用されているが、照明光学系中の屈折部材は交換が容易であるため、その石英ガラスの材料としては水素イオン( $H^+$ )のドーピング量を制御して短期的な透過率変動量を小さくした材料(長期的には次第に透過率が変動する材料)が使用されている。また、照明光学系中のビームスプリッタ7(計測点)からコンデンサレンズ10までに使用されている光学部材の枚数は投影光学系13中の光学部材の枚数に比べて少ないこともあって、照明光学系に関しては透過率の短期的な変動は殆ど問題にする必要は無い。

【0046】投影光学系13中に使用されている石英ガラスにおいては、シリコン原子( $Si$ )とその周囲の原子やイオン(酸素( $O$ ))、シリコン( $Si$ )等で、以下「X」で表す)との結合( $Si-X$ )が、真空紫外域の強いパルス光の照射によって切断されて透過率が短期的に変動し(例えば低下する)、そのパルス光の照射が中断されると、その結合( $Si-X$ )が再結合されて、短期的な緩和現象によって透過率が次第に元に戻ることが知られている。

【0047】そのため、図3(a)に示すように、時点 $t_0 \sim t_1$ ,  $t_2 \sim t_3$ ,  $t_4 \sim t_5$ , ...に一連のショット領域への露光(露光光の照射)を行い、その間の時点 $t_1 \sim t_2$ ,  $t_3 \sim t_4$ , ...にステップ移動(照射の中断)を行うものとして、本例のビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率をTとすると、その透過率Tの変動量は大部分が投影光学系13の透過率変動に起因するため、その光学系の透過率Tを本発明の投影系の透過率とみなすことができる。その光学系(主に投影光学系13)の透過率T(初期値を $T(0)$ とする)は、露光光の照射中には曲線36で示すように指数関数的に減少し、照射の中断中には曲線37で示すように指数関数的に増大することになる。そこで、本例では予め後述のようにその曲線36, 37の時定数 $\tau_a$ 、及び変動率 $C_a$ を求めておき、露光中の時点tでは図1の露光コントローラ26に接続された演算部26bにおいて、その光学系の透過率Tの時点tにおける変動率 $\delta T(t)$ を算出し、これに基づいて露光コントローラ26が露光量制御を行う。

【0048】なお、図1の照明光学系中でビームスプリッタ7からコンデンサレンズ10までの屈折部材としても、短期的な透過率変動を認めて、長期的な透過率変動の少ない材料を使用してもよい。この場合にも、ビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率Tを算出すればよい。この透過率Tに単位変換用の係数を乗じた値が上記の相関係数 $\alpha_1$ になる。

【0049】上記の透過率の変動率 $\delta T(t)$ の算出に際しては、図1の可動照野絞り9Bによって規定される



開口率ARが必要となるが、その開口率ARは、図3(b)に示すように、一つのショット領域への露光(露光光の照射)が行われる時点 $t_0 \sim t_1$ の間に、0と1(100%)との間で台形状に変化する。この場合、可動照野絞り9Bは、レチクルステージ15が走査方向(Y方向)で位置Y0と位置Y1との間にあるときに開閉されるものとする、可動照野絞り9Bの開口率ARは走査方向の位置Yの関数とも見なすことができる。

【0050】次に、本例の投影露光装置による露光量制御動作の一例につき図10及び図11のフローチャートを参照して詳細に説明する。先ず本例の露光対象のウエハ14では、使用されるフォトレジストに応じて目標露光量(積算露光エネルギーの目標値)が所定の設定露光量S0に設定されて、不図示のホストコンピュータの露光データファイルに格納される。

【0051】図7はその露光対象のウエハ14を示し、この図7において、ウエハ14の表面の被露光領域はX方向、Y方向にそれぞれ所定ピッチで複数の矩形の区画領域としてのショット領域に分割されており、そのX方向にi番目( $i=1 \sim 6$ )でY方向にj番目( $j=1 \sim 6$ )の位置(i, j)のショット領域をショット領域31(i, j)で表す。

【0052】そして、図10のステップ101において、本例の投影露光装置のオペレータは、そのホストコンピュータの露光データファイルより、ウエハに対する設定露光量S0のデータを取り出し、露光コントローラ26の記憶部26aに記憶させる。次のステップ102において、図1のエネルギー粗調器3の透過率を100%として、Zチルトステージ19上に露光対象のウエハを載置しない状態で、露光コントローラ26は、露光光源としてのエキシマレーザ光源1の出力(パルスエネルギー)を可変範囲の中央値E<sub>0</sub>(中立値)に設定し、ステージコントローラ17を介して可動照野絞り9Bの開口率ARを1(100%)に設定する。

【0053】続いてステップ103において、露光コントローラ26はエキシマレーザ光源1に例えば数10パルス程度のテスト発光を行わせると共に、各パルス光毎にインテグレータセンサ25の出力DS[ digit ]を取り込み、その出力DSと上記の相関係数 $\alpha_1$ とから次式のように投影光学系13の像面(ウエハの表面)上での平均パルスエネルギーP[ mJ / cm<sup>2</sup> ]を算出する。

$$【0054】 P = \alpha_1 \cdot DS \quad \dots (1)$$

この際に、露光コントローラ26は、図2に示すように各パルス光毎にエキシマレーザ光源1の内部のセンサとしてのエネルギーモニタ1cの出力ES[ mJ / pulse ]を取り込み、インテグレータセンサ25の出力DSをエネルギーモニタ1cの出力ESに変換するための相関係数 $\alpha_2$ を算出する( $\alpha_2 = ES / DS$ )。この相関係数 $\alpha_2$ も記憶部26aに記憶される。この相関係数 $\alpha_2$ は、本例ではエネルギー粗調器3の透過率の切り換え

が行われる毎に、テスト発光によって算出される。

【0055】この際に、各パルス光毎にエネルギーのばらつきがあるため、出力ES及びDSの計測データは図8(a)の直線51に沿って分布する。そこで、例えば最小自乗法によって求めたその直線51の傾きの逆数、又は各パルス光毎に算出される相関係数 $\alpha_2$ の平均値を最終的に相関係数 $\alpha_2$ とする。この相関係数 $\alpha_2$ を用いると、露光コントローラ26は、次式のようにインテグレータセンサ25の出力DSからエネルギーモニタ1cの出力ESを算出することができる。

$$【0056】 ES = \alpha_2 \cdot DS \quad \dots (2)$$

従って、エキシマレーザ光源1の出力をインテグレータセンサ25の出力DSを基準として制御することができる。次に、ステップ104において、図1の露光コントローラ26は、設定露光量S0に対するウエハ上の1点当たりの露光パルス数Nを算出する。即ち、関数round(x)を変数xの小数点以下第1位の値の四捨五入を行う関数であるとする、Nは次のようになる。

$$【0057】 N = \text{round}(S0 / P) \quad \dots (3)$$

次に、ステップ105において、その露光パルス数Nが、必要な露光量制御再現精度A<sub>E</sub>を得るために予め定められている最小露光パルス数N<sub>min</sub>以上であるかどうかを調べる。そして、N < N<sub>min</sub> である場合には、露光パルス数Nを大きくする必要があるが、このためには(3)式より像面上での平均パルスエネルギーPを小さくすればよい。そこで、ステップ106に移行して、露光コントローラ26は、図1のエネルギー粗調器3で設定できる複数段階の透過率の中で、N ≥ N<sub>min</sub> が成立する範囲で最も大きい値を選択し、エネルギー粗調器3の透過率をその値に設定する。その後再びステップ103に移行して、ステップ103～105までの動作を繰り返す。

【0058】この結果、エネルギー粗調器3の更新後の透過率のもとでの像面上の平均パルスエネルギーP、及び(2)式においてインテグレータセンサ25の出力DSをエネルギーモニタ1cの出力ESに換算するための相関係数 $\alpha_2$ が更新される。この場合、エネルギー粗調器3の透過率が小さくなっているため、インテグレータセンサ25の出力DSとエネルギーモニタ1cの出力ESとの関係は図8(a)の直線52に沿った計測データのようになり、相関係数 $\alpha_2$ は大きくなる。即ち、その相関係数 $\alpha_2$ はエネルギー粗調器3の透過率の関数である。そして、ステップ105でN ≥ N<sub>min</sub> が成立するときに、露光コントローラ26は次式より、設定露光量S0に対してエキシマレーザ光源1の1パルス当たりのエネルギー(像面上での計測値に換算した値)の設定値P<sub>t</sub>を求める。

$$【0059】 P_t = S0 / N \quad \dots (4)$$

上記の相関係数 $\alpha_1$ 及び $\alpha_2$ を用いると、その設定値P<sub>t</sub>はインテグレータセンサ25での出力DS(= P<sub>t</sub> /

$\alpha 1$ ) に換算でき、更にこのインテグレータセンサ25の出力DSは、次のようにエキシマレーザ光源1内のエネルギーモニタ1cの出力( $E_t$ とする)に換算することができる。

$$【0060】 E_t = (\alpha 2 / \alpha 1) P_t \quad \cdots (5)$$

次に、動作はステップ107に移行して、オペレータは、図1の固定照野絞り9Aによって規定されるレチクル11上の照明領域12Rの大きさ、ひいてはウエハ14上の露光領域12Wの大きさを露光コントローラ26に入力する。露光領域12Wの大きさとして、その走査方向(Y方向)の幅 $W_s$ 、及びその非走査方向(X方向)の幅 $W_h$ が入力される。更に、露光対象のウエハ上の各ショット領域(各チップ)のX方向の幅 $2 \cdot X_S$ 、及びY方向の幅 $Y_S$ も露光コントローラ26に入力される。その固定照野絞り9Aの開口の大きさはその露光領域12Wに対して設定される。この場合、 $W_h = 2 \cdot X_S$  が成立し、露光領域12Wの中心(光軸AX)をX方向の原点とすると、その露光領域12WのX方向の下限は $-X_S$ 、上限は $+X_S$ となる。

【0061】次に、レチクル11の透過率計測を行うために、ステップ108に移行して、図1において、XYステージ20を駆動して露光領域12Wの全体を照射量モニタ21Bの受光部内に収める。そして、予めレチクル11をレチクルステージ15から外した状態で、照射量モニタ21Bの検出信号 $P_{RF}$ とインテグレータセンサ25の検出信号DSとを取り込み、それらの比の値としてレチクルが無い場合の基準透過率 $T_{std} (= P_{RF} / DS)$ を求めて、記憶部26aに記憶しておく。その基準透過率 $T_{std}$ は照明条件(通常照明、輪帯照明、変形照明、小 $\sigma$ 値照明等)毎の制御パラメータ(定数)として記憶されている。その基準透過率 $T_{std}$ に、図3(b)の可動照野絞り9Bの開口率ARを乗じて得られる透過率が図3(c)の折れ線57で表される。折れ線57は最大値(平坦部の値)が $T_{std}$ で走査方向の位置Y( $Y_0 \leq Y \leq Y_1$ )に関して台形状に変化している。また、露光領域12Wの走査方向の幅(スリット幅)が $W_s$ であるため、その透過率は位置 $Y_0$ 及び $Y_1$ に対して幅 $W_s$ の範囲で増加又は減少している。

【0062】次に、レチクル11をレチクルステージ15上に載置して、可動照野絞り9Bを露光時と同様に制御(開閉)し、レチクルステージ15を駆動してレチクル11を照明領域12Rに対してY方向に走査し、露光コントローラ26で照射量モニタ21Bの検出信号 $P_{RF}$ とインテグレータセンサ25の検出信号DSとを所定のサンプリングレートで取り込み、それらの検出信号の比の値( $= P_{RF} / DS$ )を、レチクルステージ15のY方

$$\delta T(t) = \delta T(t - \Delta t) \cdot \exp(-\Delta t / \tau a) + C a \cdot W(t) \cdot [1 - \exp(-\Delta t / \tau a)] \quad \cdots (7)$$

また、(7)式のトラッキングを開始するときには、上記の平均透過率 $\langle T \rangle$ 及び基準透過率 $T_{std}$ を用い

向の位置(レチクル座標系)の関数 $T_{mes}(Y)$ として記憶部26aに記憶する。この関数 $T_{mes}(Y)$ は、図3(c)の曲線56で示すように、走査範囲( $Y_0 \leq Y \leq Y_1$ )において、基準透過率 $T_{std}$ よりも小さい値で、デバイスパターンの粗密の分布に対応して不規則に変化している。次に、ステップ109において、露光コントローラ26は次式より照射パワー係数 $\eta(Y)$ を位置Yの関数として算出する。

$$【0063】$$

$$\eta(Y) = T_{mes}(Y) / T_{std} \quad \cdots (6)$$

次に、ステップ110に移行して露光コントローラ26は、透過率変動のトラッキングを開始するにあたっての初期値計測を行う。計測例としては、図4のようにレチクルステージ15上に形成されている計測スリット28を用いる。この計測スリット28の中心を照明領域12Rの中心、即ち本例では投影光学系13の光軸AX上に移動し、パルス照明光ILの照射を開始して、図5に示すように、その計測スリット28の像28Wをウエハステージ上の照度むらセンサ21Pのピンホール状の受光部21PaでX方向(非走査方向)に走査する。そして、受光部21PaをX方向に所定間隔で設定された一連の計測点に移動させながら、各計測点で十分な再現性を得られるようなパルス数( $N_m$ )で照度むらセンサ21Pの検出信号 $P_{pin}$ 、及びインテグレータセンサ25の検出信号DSを取り込んで演算部26bに供給し、演算部26bでは各計測点でそれぞれ検出信号 $P_{pin}$ 及びDSの比の値( $= P_{pin} / DS$ )の平均値を、露光領域12WでのX方向の透過率 $T_1(X)$ として記憶(プロット)する。

【0064】図6はそうようにして得られた透過率 $T_1(X)$ を示し、この図6において、横軸は設定された露光領域12WのX座標、縦軸はそのX座標でのレチクル11を除いた光学系、即ち主に投影光学系13自体の透過率 $T_1(X)$ である。図6では、露光領域12Wの非走査方向の幅を最大にして、X座標の範囲を( $-X_S \sim +X_S$ )に設定した場合を示しているが、転写対象のパターンによっては、その非走査方向の領域は、( $-X_S \sim +X_S$ )内の所定の領域となることもある。

【0065】次に、その透過率 $T_1$ のX方向における平均値を平均透過率 $\langle T \rangle$ として求め、この平均透過率 $\langle T \rangle$ を記憶部26aに記憶する。次にステップ111において、透過率予測のトラッキングを開始する。即ち、或る時点tでのビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率Tの変動率 $\delta T(t)$ は、演算部26bによって以下の式で算出される。

$$【0066】$$

て、変動率 $\delta T(t)$ の初期値として以下の式を代入する必要がある。

【0067】

$$\delta T(t - \Delta t) = \langle T \rangle / T_{std} - 1 \quad \dots (7A)$$

ここで、(7)式の第1項は緩和項、第2項は照射項であり、各変数の意味は以下の通りである。

1)  $\Delta t$  : サンプルング時間。これは実際の露光時間に比べて十分小さい時間であり、例えば数ms程度である。

【0068】2)  $r_a$  : 透過率変動の時定数であり、露光プロセス(レチクルパターンの種類、この種類の混合比、固定照野絞り9Aの設定、照明条件、及び露光時の

パルスエネルギー密度(フルエンス))毎に予め求めて

$$W(t) = \frac{\int_{t' = t - \Delta t}^{t' = t} \{ \eta(Y) \cdot I(t') \cdot \alpha(t' - \Delta t) dt' \}}{\Delta t} \quad \dots (8)$$

【0071】この式中の照射パワー係数 $\eta(Y)$ は、走査方向の位置Yの関数であるが、位置Yは、透過率予測のトラッキング開始後の時点tの所定の関数 $f(t)$ で表すことができる。つまり、走査露光中にレチクルステージ15のY座標を $\Delta t$ 毎に読み取り、(6)式より $\eta(Y)$ を計算し、これを(8)式に代入して照射パワー

【0072】 $I(t')$  : 時点 $t'$ におけるインテグレートセンサ25の出力。

$\alpha(t' - \Delta t)$  : 時点 $t'$ から $\Delta t$ だけ前の時点において、像面でのパルスエネルギーをインテグレートセンサ25の出力で割った相関係数 $\alpha(t)$ の値。そして、演算部26bでは(8)式より $\Delta t$ おきに照射パワー $W(t)$ を算出し、この $W(t)$ を(7)式に代入して透過率の変動率 $\delta T(t)$ を算出する。

【0073】そして、露光時は、ショット毎、又は $\Delta t$ 経過する毎に、相関係数 $\alpha(t)$ の更新を行う。即ち、

(7)式の透過率の変動率 $\delta T(t)$ 、及び露光開始前に露光光による照射熱の影響が無い一定温度の状態で計測した相関係数 $\alpha(t)$ の初期値 $\alpha_0$ を用いて、相関係数 $\alpha(t)$ として、以下の式の値を使用する。

$$\alpha(t) = (1 - \delta T(t)) \cdot \alpha_0 \quad \dots (9)$$

次に、図11に示す露光動作を行う。即ち、図11のステップ121のウエハ間処理工程において、図1のZチルトステージ19上のウエハの交換、不図示のアライメントセンサのベースライン量の計測、及び交換後のウエハ(ウエハ14とする)の例えばエンハンスト・グローバル・アライメント(EGA)方式によるアライメントを行った後、ステップ122において、ウエハ14の露光対象のショット領域(チップ)を走査開始位置に移動し、ステップ123において、露光光の非発光時間、又は前に基準透過率を計測してから経過時間が所定の時間 $T_{nonf}$ (例えば30s)以下であるかどうかを判定する。そして、その非発光時間、又はその経過時間が $T_{nonf}$ より大きくなっているときには、ステップ130に

おく定数である。

3)  $C_a$  : 透過率の変動率[%/W]であり、露光プロセス毎に予め求めておく定数である。

【0069】更に、その(7)式中の関数(以下、「照射パワー」という) $W(t)$ は次式で表すことができる。

【0070】

【数1】

移行して、ステップ110と同様に図6に示すように基準透過率としての平均的な透過率 $\langle T \rangle$ を計測する。そして、リセット処理として、ステップ111における透過率の変動率のトラッキング開始時の動作と同様に、透過率の変動率の初期値 $\delta T(t - \Delta t)$ として(7A)式を代入する。その後、動作はステップ124に移行する。

【0074】一方、ステップ123でその非発光時間、又はその経過時間が $T_{nonf}$ 以下であるときには、ステップ124に移行して、露光開始直前での透過率の変動率 $\delta T(t)$ を次のショット露光に反映させる。即ち、前の時点で(又はリセット処理として)計算された透過率の変動率 $\delta T(t - \Delta t)$ を(7)式に代入して、現時点tでの透過率の変動率 $\delta T(t)$ を算出する。そして、この変動率 $\delta T(t)$ を上記の(9)式に代入して相関係数 $\alpha(t)$ を算出する。

【0075】次のステップ125において、露光コントローラ26は、ウエハ上の次ショットの走査露光条件、即ち設定露光量 $S_0$ 、ウエハ上の1点当たりの露光パルス数N、エキシマレーザ光源1の発光周波数f、エキシマレーザ光源1での目標パルスエネルギーの設定値 $E_t$ 、ウエハの走査速度V、及びエネルギー粗調器3の透過率の設定値 $T_{adj}$ を決定する。この際に、次のショット領域(チップ)を露光中の目標パルスエネルギー $E_t$ は、設定露光量 $S_0$ 、計算上の1点当たりの露光パルス数N、及び(9)式のリアルタイムの相関係数 $\alpha(t)$ を用いて次式で表される。

【0076】

$$E_t = (S_0 / N) / \alpha(t) \quad (10)$$

そして、図7に示すように、ウエハ14に対しては露光領域12Wを相対的に軌跡30に沿って移動させることによって露光を行うものとする(実際にはウエハ14側が移動する)、ショット領域31(2.1), 31(3.1), …の順に走査露光が行われる。そこで、露光コントローラ26は、ウエハ14上で次に露光を行う位置(i, j)のショット領域に対する走査露光条件をエキ

シマレーザ光源1及びステージコントローラ17に設定する。露光中の最初は目標パルスエネルギー $E_t$ と、図2のエキシマレーザ光源1中のエネルギーモニタ1cによる実際の計測値 $E_t'$ とをパルス毎に比較し、その差分をレーザ共振器1aにフィードバックすることによって、パルスエネルギーの制御が行われる。

【0077】その後、ステップ126において、エキシマレーザ光源1のパルス発光が開始され、図7に示すように露光領域12Wに対してウエハ14を走査方向SD(Y方向)に走査速度Vで走査することによって、当該ショット領域への走査露光が行われる。この際の露光量制御は一例として次のように行われる。即ち、図1の露光コントローラ26は、エキシマレーザ光源1のパルス発光の開始前に発光パルス数 $n$ を計数するための内部のレジスタよりなるパルスカウンタのリセットを行う。その後、レチクル11及びウエハ14が同期してそれぞれ等速走査されるようになって、ウエハ14上の露光対象のショット領域の端部が露光領域12Wにさしかかる直前(発光開始点)に到達してから、露光コントローラ26はエキシマレーザ光源1にパルス発光を開始させる。そして、各パルス発光毎に、露光コントローラ26はインテグレートセンサ25を介して各パルス照明光1Lのパルスエネルギーを計測する。

【0078】本例では、エキシマレーザ光源1は、順次発光されるパルス照明光に対して、任意の連続する最小露光パルス数( $N_{min}$ )と同じ個数のパルス当たりの積算エネルギーが、一定値である $E_t \cdot N_{min}$ になるようなフィードバック制御でパルス発光を行う。このため、 $i$ パルス目( $i = 0, 1, 2, \dots$ )を発光させたときにインテグレートセンサ25を介して計測したパルスエネルギーを $P_i$ とする。なお、 $P_0 = 0$ とする。そして、それまでに計測されたパルスエネルギー $P_i$ を用いて、露光コントローラ26は次のように次のパルス発光時のパルスエネルギーの目標値を算出し、この目標値をエキシマレーザ光源1に設定する。

【0079】この場合、図9(a)に示すように、ウエハ14上の点55に対して今までに( $n-1$ )パルスの露光が行われ、 $n$ パルス目の露光を待っている状態を想定する。図9(a)において、矩形的露光領域12Wは説明の便宜上非走査方向(X方向)の幅を狭く表現しており、露光領域12Wに対するウエハ14の走査方向を+Y方向としている。また、図9(b)の実線の折れ線の点54-1~54-( $n-1$ )は、点55が露光領域12Wに対して移動する途中で与えられた積算露光量を表しており、図9(b)において、横軸は各露光パルスが照射されたときの点55のY座標に対応している。また、図9(b)の点線の直線53は、各パルス発光が行われる際の目標積算露光量を表しており、点55に対する積算露光量を $N$ パルス目の露光によって設定露光量 $S_0$ に所定の許容範囲で合致させるのが露光量制御の目的

である。

【0080】このとき、 $i$ パルス目にインテグレートセンサ25を介して計測されたパルスエネルギー $P_i$ を、エネルギーモニタ1cでの計測値に換算した値を $E_i (= \alpha 2 \cdot P_i)$ とすると、最も簡単な制御方法として、 $n$ パルス目の露光待ちの点55にとっての次パルスの目標露光量 $E_t(n)$ を、次のようにすればよい。

【0081】

【数2】

$$E_t(n) = E_t \cdot N_{min} - \sum_{i=n-(N_{min}-1)}^{n-1} E_i$$

$$= E_t - \sum_{i=n-(N_{min}-1)}^{n-1} (E_i - E_t) \quad \dots (11)$$

【0082】露光コントローラ26は、各パルス光の発光毎にそのように算出されたパルスエネルギー $E_t(n)$ をエキシマレーザ光源1に出力し、エキシマレーザ光源1はそれに応じた発光を行う。また、各パルス発光毎に露光コントローラ26は内部のパルスカウンタの値 $n$ に1を加算した後、露光対象のショット領域が露光領域12Wを通過したかどうか、即ちウエハ14が露光終了点に到達したかどうかを判定する。これはステージコントローラ17からの各ステージの位置情報等から判定することができる。そして、露光終了点に達したときには、走査終了の処理、即ちパルス発光の停止を行う。

【0083】更に、露光コントローラ26は、露光が終わったショット領域の間隔 $Y_{step}$ の各点について、インテグレートセンサ25によって計測されるパルスエネルギーを積算して像面上での積算露光量 $R_k (k = 1, 2, \dots)$ を算出する。図8(b)はこのようにショット領域の各点毎に算出される積算露光量 $R_k$ の一例を示し、この図8(b)の横軸はショット領域内の走査方向の位置 $Y$ を示している。このとき、露光コントローラ26は、一連の積算露光量 $R_k$ の平均値 $R_{ave}$ 、最大値 $R_{max}$ 、及び最小値 $R_{min}$ を求め、これらのパラメータ $R_{ave}$ 、 $R_{max}$ 、 $R_{min}$ の値がそれぞれ許容範囲内にあるかどうかを判別し、判別結果を不図示の主制御系に出力する。その後、図11のステップ127に移行して、ウエハ14上で次に露光するショット領域が有るときには、ステップ128に移行して次のショット領域を走査開始位置に移動してステップ123~127の露光動作を行う。

【0084】その後、全部のショット領域の露光が終了したときにはステップ127からステップ129に移行して、同一ロット内で未露光のウエハが有るかどうかをチェックする。そして、未露光のウエハが有るときには、ステップ121~128の動作が繰り返されて、次に露光するウエハが無くなったときに露光工程を終了する。この露光後のウエハが、現像工程、エッチング等のパターン形成工程、及びレジスト剥離工程等を所定回数経た後、ダイシング、ボンディング、パッケージング等

の工程を経ることで、半導体デバイスが製造される。

【0085】このように本例によれば、投影光学系13を含むビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率のパルス照明光1Lの照射、及び照射停止による変動率 $\delta T(t)$ を算出し、この変動率を用いてエキシマレーザ光源1のパルスエネルギーを補正している。従って、その光学系中の石英ガラスの透過率が短期的に変動する場合でも、ウエハ14上の各ショット領域内の各点において積算露光量を設定露光量に対して許容範囲内に収めることができる。

【0086】なお、ステップ111において、制御定数として用いている変動率 $C_a$ 、及び時定数 $\tau_a$ は初期的に求めておけばその後も継続して使えるわけではなく、硝材への照射によって中長期的に変化することが本発明者によって確かめられている。そこで、これらの制御定数

$$\tau_a' = \tau_a \cdot \{ (P_{std}/P) \cdot (1/\eta(Y)) \}^k \quad \dots (12A)$$

$$C_a' = C_a \cdot \{ (P_{std}/P) \cdot (1/\eta(Y)) \}^k \quad \dots (12B)$$

この場合には、(7)式における時定数 $\tau_a$ 及び変動率 $C_a$ の代わりにそれぞれ $\tau_a'$ 及び $C_a'$ を使用すればよい。べき数 $k$ は、一例として $1/2$ （平方根）であるが、実際には実験的に定めればよい。

【0088】また、これを一般化すると、像面での平均

$$\tau_a' = \tau_a \cdot g_1(P, \eta(Y)) \quad \dots (13A)$$

$$C_a' = C_a \cdot g_2(P, \eta(Y)) \quad \dots (13B)$$

又は、新たな時定数 $\tau_a'$ 及び変動率 $C_a'$ は、平均パルスエネルギー $P$ 、及び照射パワー係数 $\eta(Y)$ に対してテーブルとして記憶しておいてもよい。

【0089】更に、これまで述べてきた透過率の変動率の予測制御において、ウエハ間処理の直後には予測精度が落ちることが本発明者の実験より分かってきた。例えば、ウエハ間処理としてアライメントマークの位置計測等のように、非発光時間が比較的長い時間継続した直後の数個のショット領域への露光時に予測精度が低下する。そのような場合を考慮して、本例ではステップ123において、非発光時間が所定時間 $T_{nonf}$ より長く経過した直後のショット領域への露光時には、ステップ130に移行して基準透過率の実測を行い、その実測値の変動量を(7A)式のようにして、トラッキングをリセットしている。これによって、透過率の予測精度の低下が防止できる。

【0090】次に、図11のステップ126における露光量制御動作の他の例につき説明する。この例では、エキシマレーザ光源1は、所定の単位パルス数当たりの積算エネルギーが一定になるようなフィードバック制御でパルス発光を行う。即ち、最小露光パルス数 $N_{min}$ よりも小さい所定の発光パルス数 $N_{unit}$ の発光が行われる時間を単位時間 $T_{unit}$ （これは発光周波数 $f_k$ によって変化する）とすると、エキシマレーザ光源1は初期状態では、単位時間 $T_{unit}$ 毎に出力されるパルス光のエネルギーモニタ1cによって計測されるエネルギー積算値がE

は定期的に更新することが望ましい。更に、実際には変動率 $C_a$ 、及び時定数 $\tau_a$ は、像面でのパルスエネルギー（フルエンス）、(6)式の照射パワー係数 $\eta$

(Y)、及びレチクルの透過率分布にも依存して変化する。そこで、露光量制御精度を更に向上するためには、露光中に変動率 $C_a$ 、及び時定数 $\tau_a$ も更新することが望ましい。そのためには具体的に、図10のステップ103において、像面での平均パルスエネルギー $P$ が算出されたときに、演算部26bでは、それまでの透過率変動の時定数 $\tau_a$ 及び透過率の変動率 $C_a$ を次式によって新たな時定数 $\tau_a'$ 及び変動率 $C_a'$ に更新する。なお、 $P_{std}$ は、それまでの時定数 $\tau_a$ 及び変動率 $C_a$ のデータ取りを行ったときに計測された像面フルエンスであり、べき数 $k$ は整数又は半整数である。

【0087】

パルスエネルギー $P$ 、及び照射パワー係数 $\eta(Y)$ の関数 $g_1(P, \eta(Y))$ 、及び $g_2(P, \eta(Y))$ を用いて、新たな時定数 $\tau_a'$ 及び変動率 $C_a'$ は次のように表すことができる。

$t \cdot N_{unit}$ となるようにパワーロックを行う。但し、これのみでは、パルスエネルギーのばらつき、及びドリフトによってウエハ上での積算露光量が設定露光量 $S_0$ から外れる恐れがある。そこで、インテグレータセンサ25の計測値に基づいて、パルスエネルギーの誤差分を相殺するように、次にエキシマレーザ光源1で発光されるパルスエネルギーの調整を行う。

【0091】この場合、 $i$ パルス目( $i=0, 1, 2, \dots$ )を発光させたときにインテグレータセンサ25を介して計測したパルスエネルギーを $P_i$ とする( $P_0=0$ )。そして、それまでに計測されたパルスエネルギー $P_i$ を用いて、露光コントローラ26は次のように次のパルス発光時のパルスエネルギーの目標値を算出し、この目標値をエキシマレーザ光源1に設定する。

【0092】この場合にも、図9(a)に示すように、ウエハ14上の点55に対して今までに $(n-1)$ パルスの露光が行われ、 $n$ パルス目の露光を持っている状態を想定する。この際のパルスエネルギーの制御は、 $N_{unit}$ 個の発光パルス数を単位として行われる。また、図9(b)の実線の折れ線の点54-1~54-( $n-1$ )は、点55が露光領域12Wに対して移動する途中で与えられた積算露光量を表し、点線の直線53は、各パルス発光が行われる際の目標積算露光量を表しており、点55に対する積算露光量を $N$ パルス目の露光によって設定露光量 $S_0$ に所定の許容範囲で合致させるのが露光量制御の目的である。

【００９３】この場合、１パルス目にインテグレータセンサ２５を介して計測されたパルスエネルギー $P_1$ を、エネルギーモニタ１ｃでの計測値に換算した値を $E_1 (= \alpha \cdot P_1)$ とすると、 $n$ パルス目の露光待ちの点５５に  
 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95  
 100 105 110 115 120 125 130 135 140 145 150 155 160 165 170 175 180 185 190 195  
 200 205 210 215 220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 275 280 285 290 295 300  
 305 310 315 320 325 330 335 340 345 350 355 360 365 370 375 380 385 390 395 400 405 410 415 420 425 430 435 440 445 450 455 460 465 470 475 480 485 490 495 500  
 505 510 515 520 525 530 535 540 545 550 555 560 565 570 575 580 585 590 595 600 605 610 615 620 625 630 635 640 645 650 655 660 665 670 675 680 685 690 695 700 705 710 715 720 725 730 735 740 745 750 755 760 765 770 775 780 785 790 795 800 805 810 815 820 825 830 835 840 845 850 855 860 865 870 875 880 885 890 895 900 905 910 915 920 925 930 935 940 945 950 955 960 965 970 975 980 985 990 995

$$E_t(n) = E_t - W_A (E_{n-1} - E_t) - W_B \sum_{i=n-1-N_{unit}}^{n-1} (E_i - E_t) \quad \cdots (14)$$

【0095】この(14)式において、右辺の第2項は、直前のパルスエネルギーの誤差( $E_{n-1} - E_t$ )に重率 $W_A$ を乗じて得られる直前のパルスの誤差相殺項であり、右辺の第3項は、その前の $N_{unit}$ パルス分のパルスエネルギーの誤差の積分値に重率 $W_B$ を乗じて得られる誤差相殺項である。即ち、本例では直前のパルスエネルギーの誤差、及びその前の $N_{unit}$ パルス分のパルスエネルギーの誤差に基づいて、次のパルスエネルギーができるだけ目標値である $E_t$ に近付くような制御を行っており、2つの重率 $W_A$ 、 $W_B$ の比率によって制御精度を最適化することができる。露光コントローラ26は、各パルス光の発光毎にそのように算出されたパルスエネルギー $E_t(n)$ をエキシマレーザ光源1に出力し、エキシマレーザ光源1はそれに応じた発光を行う。この後の動作は上記の実施の形態と同様である。

【0096】次に、最近では、2つの異なる照明条件を

$$\begin{aligned} \delta T(t) &= \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t/\tau_{a1-1}) \\ &+ C_{a1-1} \cdot 0 \cdot \{1 - \exp(-\Delta t/\tau_{a1-1})\} \\ &+ \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t/\tau_{a1}) \\ &+ C_{a1} \cdot W(t) \cdot \{1 - \exp(-\Delta t/\tau_{a1})\}\} \\ &= \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t/\tau_{a1-1}) \\ &+ \{\delta T(t-\Delta t) \cdot \exp(-\Delta t/\tau_{a1}) \\ &+ C_{a1} \cdot W(t) \cdot \{1 - \exp(-\Delta t/\tau_{a1})\}\} \quad (15) \end{aligned}$$

このとき、更に図1の投影光学系13の瞳面（レチクル11に対する光学的なフーリエ変換面）上で0次光同士が非干渉な2つの照明条件（例えば輪帯照明及び小 $\alpha$ 値の照明）の組み合わせでの二重露光では、(15)式を用いても予測精度が低下することが実験により分かってきた。このために2重露光の際、又は照明条件を切り換える毎に確認のための透過率計測を行い、初期値のリセットを行うようにしてもよい。これでもウエハ内の各ショット領域での予測精度が所定のレベルに達しないことがあり、この場合にはウエハ内の各ショット領域への露光前にも確認のための透過率計測を行うことが望ましい。必要となる計測頻度は、切り替えに要した時間を $T_c$ 、現在の照明条件での平均照射パワーを $W_{PRES}$ とすると、 $T_c$ と $W_{PRES}$ との関数で表される。

【0098】また、上記の実施の形態において、図6のように光学系の非走査方向(X方向)の透過率分布を計測した場合に、そのばらつき、即ち照度むらの変化が所定の許容範囲を超えると、ウェハ上の各点での積算露光量のばらつきが大きくなって、積算露光量が目標値に対して許容範囲内に収まらない部分が生じる恐れがある。

率（重み） $W_A$ ， $W_B$  [無次元] を用いて次のようにする。

【0094】

【数3】

$$B \sum_{i=n-1-N_{\text{unit}}}^{n-1} (E_i - E_t) \quad \dots (14)$$

交互に用いて、それぞれ異なるレチクルを露光し、ウェハ上の各ショット領域（各チップ）を露光するようないわゆる二重露光法が使用されるようになっている。この二重露光法を上記の実施の形態に適用する場合には、１ロットの処理の先頭で、各照明条件毎にステップ１０７～１１０の制御パラメータ（制御定数）の初期値計測を行い記憶部２６ａに記憶する。そして、光学系の透過率の変動率 $\delta T(t)$ のトラッキングは、（７）式の代わりにその変動量を時間に対して線形と見なした以下の式を用いて行うものとする。

【0097】この際に、使用中でない前の照明条件を (i-1) 番目の照明条件、使用中の現在の照明条件を i 番目の照明条件として、i 番目の照明条件での変動率  $C_a$  を  $C_{ai}$ 、時定数  $\tau_a$  を  $\tau_{ai}$  とすると、以下の式のような線形系として扱うことができる。

そこで本例では、そのような場合には、露光光の照射を停止して緩和効果によってその透過率が均一化するまで露光を行わないようにするか、又はレチクルを外して投影光学系 13 に一様に露光光を照射して、透過率分布を均一化するようにしている。これによって、積算露光量の誤差が許容範囲を超えることが防止できる。

【0099】また、上記の実施の形態では、インテグレートセンサ25を用いて投影光学系13を含む光学系を通過する光量を算出しているが、より正確にその光学系を通過する光量を算出するために、図1の反射量モニタ60で計測される光量をも考慮するようにしてもよい。なお、上記の実施の形態では、石英ガラスの透過率変動に起因する透過率の変動率を予測しているが、例えば露光光として波長が170nm以下のパルス光を使用し、屈折部材として蛍石やフッ化マグネシウム(MgF<sub>2</sub>)等を使用する場合にも、透過率の変動率が露光量に影響する場合には本発明の露光量の制御方法を適用することによって、露光量の制御精度を向上できる。更に、ミラー等の反射部材の反射率が変動する場合にも本発明が適用できる。

【0100】また、上記の実施の形態は、ステップ・アンド・スキャン方式よりなる走査露光方式の投影露光装置で露光を行う場合に本発明を適用したものであるが、本発明はステッパーのような一括露光型（静止露光型）の露光装置で露光を行う場合にも適用することができる。このように本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

#### 【0101】

【発明の効果】本発明によれば、露光ビームの光量の計測点から第2物体までの光学系中に透過率や反射率が次第に変動するような光学部材が使用されている場合でも、露光対象の物体（ウエハ等の第2物体）上で高い露光量制御精度が得られる。また、本発明によれば、パルス光を用いて露光を行う場合に、光学系の透過率（反射率も含めた全体の透過率）が次第に変動しても、露光対象の物体上で高い露光量制御精度が得られる。

【0102】また、本発明をデバイス製造方法に適用した場合には、高い露光量制御精度が得られるため、線幅精度等に優れた高機能のデバイスを量産できる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態の一例で使用するステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を示す構成図である。

【図2】 図1の投影露光装置の露光量制御系を示すブロック図である。

【図3】 (a)は図1中のビームスプリッタ7からウエハ14までの光学系の透過率の変動の一例を示す図、(b)は図1中の可動照野絞り9Bの開口率の変化の一例を示す図である。

【図4】 図1のレチクルステージ15を示す平面図で

ある。

【図5】 計測スリットの像をウエハステージ側の照度むらセンサ21Pで走査する状態を示す平面図である。

【図6】 本発明の実施の形態の光学系の非走査方向への透過率分布の計測結果の一例を示す図である。

【図7】 その実施の形態で露光対象とするウエハのショットマップを示す平面図である。

【図8】 (a)はインテグレートセンサ25の処理量と、エネルギーモニタ1cの処理量との関連データの一例を示す図、(b)はウエハ上のショット領域内の一連の複数点における積算露光量の一例を示す図である。

【図9】 ウエハ上の或る点に対してnパルス目の露光を行う場合の目標パルスエネルギーの算出方法の説明図である。

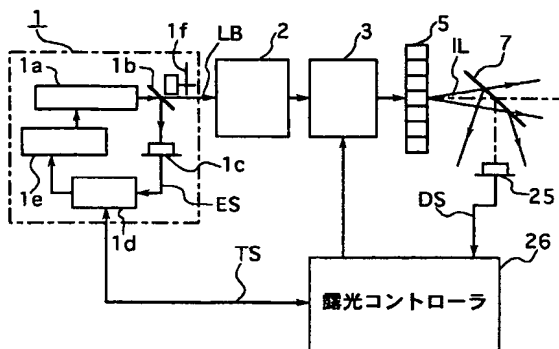
【図10】 その実施の形態の一例における走査露光の前処理を示すフローチャートである。

【図11】 その実施の形態の一例における走査露光時の露光量制御動作を示すフローチャートである。

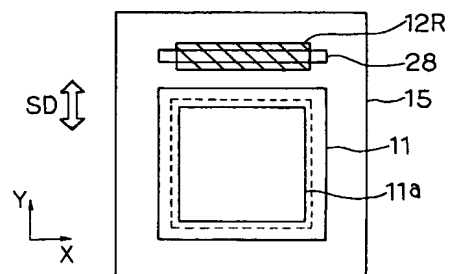
#### 【符号の説明】

1…エキシマレーザ光源、1c…エネルギーモニタ、1d…エネルギーコントローラ、1e…高圧電源、2…ビーム整形光学系、3…エネルギー粗調器、7…ビームスプリッタ、9B…可動照野絞り、10…コンデンサレンズ、11…レチクル、12W…ウエハ上での矩形の露光領域、13…投影光学系、14…ウエハ、15…レチクルステージ、17…ステージコントローラ、19…Zチルトステージ、20…XYステージ、21B…照射量モニタ、21P…照度むらセンサ、25…インテグレートセンサ、26…露光コントローラ、26a…記憶部、26b…演算部、28…計測スリット

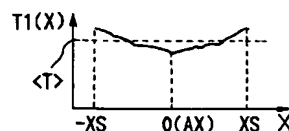
【図2】



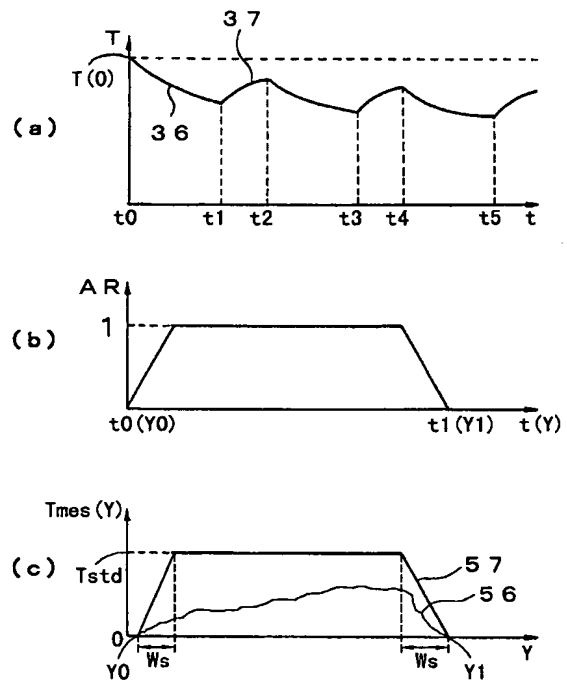
【図4】



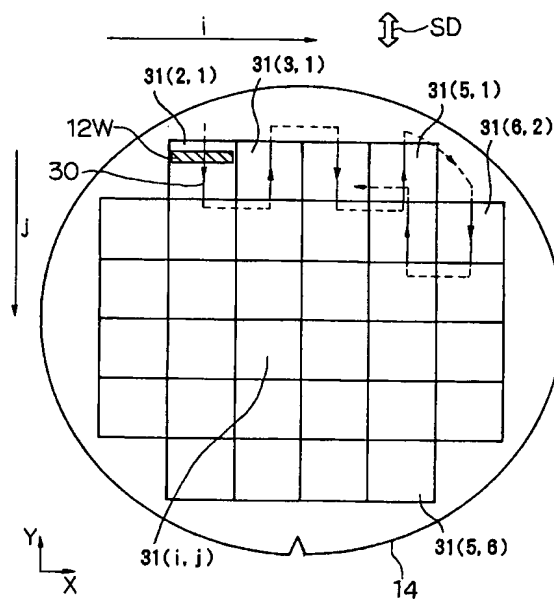
【図6】



【図 3】

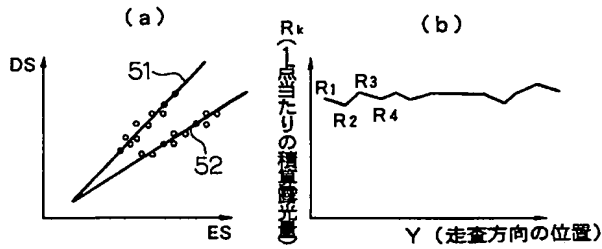


【図 7】

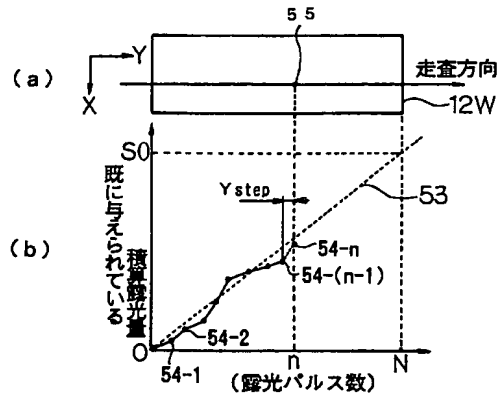




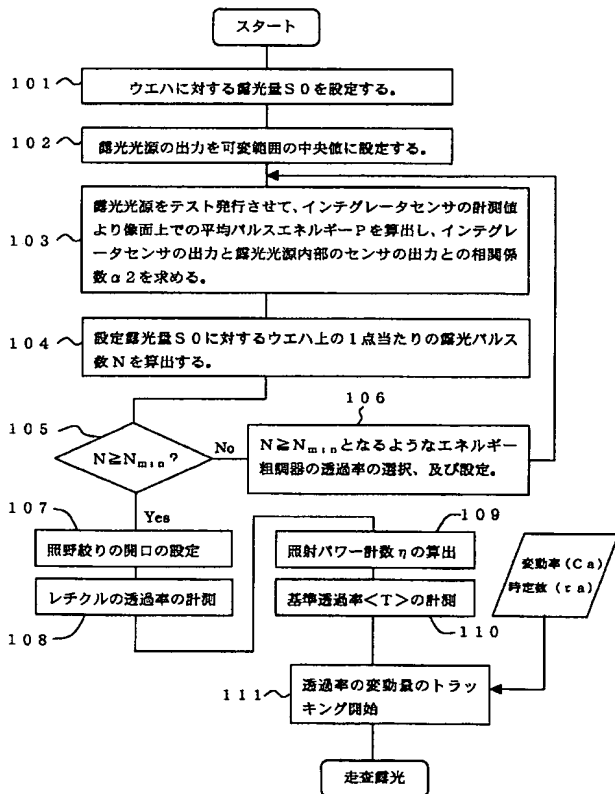
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

